

Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes

Transporte e seus impactos na Sociedade
22 a 24 de novembro de 1993

realização:
Escola Politécnica da USP



Nº USP: 3.12.00.00-5

Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes



F2 - LOGÍSTICA

- 1 - TT - RELAÇÕES MÉTRICAS E APROXIMAÇÕES EM REDES LOGÍSTICAS**
. Antonio Galvão Novaes
- 2 - TT - UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**
. Edson Martins de Aguiar
- 3 - TT - LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS NUMA REDE LOGÍSTICA COM AUXÍLIO DE GIS**
. Antonio Galvão Novaes / Cássio Fernando Rosseto
- 4 - CT - CRIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS GEOREFERENCIADA PARA ESTUDOS DE PLANEJAMENTO REGIONAL DE TRANSPORTES NO BRASIL**
. Wagner Colombini Martins / Guilherme Iversson



- 4 - TT - INTERCÂMBIO ELETRÔNICO DE DADOS E TRANSPORTE DE CARGA
Célia Maria Guimarães Anchieta 565

F2 - LOGÍSTICA

- 1 - TT - RELAÇÕES MÉTRICAS E APROXIMAÇÕES EM REDES LOGÍSTICAS
Antonio Galvão Novaes 579
- 2 - TT - UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE
Edson Martins de Aguiar 593
- 3 - TT - LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS NUMA REDE LOGÍSTICA COM O AUXÍLIO DE GIS
Antonio Galvão Novaes / Cássio Fernando Rosseto 605
- 4 - CT - CRIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS GEOREFERENCIADA PARA ESTUDOS DE PLANEJAMENTO REGIONAL DE TRANSPORTES NO BRASIL
Wagner Colombini Martins / Guilherme Iversson 617

G1 - GESTÃO: EMPRESAS OPERADORAS

- 1 - TT - DO ARTESANATO À MODERNA GESTÃO EMPRESARIAL DAS EMPRESAS PRIVADAS DE ÔNIBUS URBANOS NO BRASIL?
Antônio Brasileiro de Freitas Dourado 629
- 2 - TT - AMBIENTE ORGANIZACIONAL DE UMA EMPRESA DE TRANSPORTE COLETIVO DE ÔNIBUS
Milena Bodmer / Sandra Borges 643
- 3 - TT - EMPRESAS DE ÔNIBUS: NOVO MODELO, NOVA DINÂMICA
Rômulo Dante Orrico Filho / Milena Bodmer / Antônio C. Machado de Sá 653
- 4 - TT - ANÁLISE DE ÍNDICES MARGINAIS APLICADA A EMPRESAS DE TRANSPORTE - O CASO DA COMPANHIA DO METRÔ DE SÃO PAULO
João Alberto Mannus Corrêa 665



G2 - GESTÃO: PODER PÚBLICO

- 1 - TT - ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS DE REMUNERAÇÃO DO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS: O CASO DA COBERTURA DOS CUSTOS VIA TARIFA, O CAIXA ÚNICO E A CÂMARA DE COMPENSAÇÃO TARIFÁRIA
José Augusto de Abreu Sá Fortes / Clóvis Antônio Barbará Jacob 675
- 2 - CT - AUTOBUS - CONTROLE AUTOMÁTICO DE TRANSPORTE COLETIVO
Cássio Fernando Rosseto / Wagner Colombini Martins / Alexandre Augusto Ottati Nogueira 691
- 3 - CT - CONSUMO DE PEÇAS E ACESSÓRIOS: UMA REVISÃO DOS MÉTODOS ATUAIS PARA SUA ESTIMATIVA
Cesar Cavalcanti de Oliveira 701
- 4 - CT - ALGUNS ASPECTOS RELACIONADOS À DEFINIÇÃO DE POLÍTICAS DE RENOVAÇÃO E AMPLIAÇÃO DE FROTAS DE ÔNIBUS URBANOS
Maurício Renato Pina Moreira / Soheil Rahnemay Rabbani 709
- 5 - CT - FONDO LOCAL DE TRANSPORTE
Nelson Torcate 717
- 6 - CT - TRANSPORTE COLETIVO - A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL DE FONTES NÃO CONVENCIONAIS DE FINANCIAMENTO
Andreina Nigriello 727

HI - ENGENHARIA DE TRÁFEGO: SEGURANÇA E PEDESTRES

- 1 - TT - HARMONIA ENTRE VELOCIDADES E GEOMETRIA DE RODOVIAS
José Bernardes Felex / Benjamin J. R. dos Santos 739
- 2 - TT - ANÁLISE DO CONHECIMENTO E INFERÊNCIA EM UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA SEGURANÇA VIÁRIA
Flávio S. Corrêa da Silva / Hugo Pietrantonio 751
- 3 - TT - O TRATAMENTO DE TRAVESSIAS DE PEDESTRES POR SISTEMA ESPECIALISTA
Eloir de Oliveira Faria / Licínio da Silva Portugal / Marilita Guecco de Camargo Braga 769

UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE COLETA E TRANSPORTE
DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA CIDADES DE PEQUENO E
MÉDIO PORTE

EDSON MARTINS DE AGUIAR
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um procedimento matemático que possibilita estimar o tamanho de uma frota de veículos e equipes de trabalho, para a coleta e o transporte de resíduos sólidos domiciliares de cidades de pequeno e médio porte.

Permite também avaliar os custos totais, médios, marginais, assim como a influência de um ou mais parâmetros sobre eles, à medida que simulam-se variações ou alterações no esquema operacional.

Estas variações referem-se a características da cidade tais como forma geométrica, densidade populacional, taxa de geração e composição dos resíduos sólidos domiciliares dos setores, distância entre a cidade e o local de disposição final do lixo, entre outras.

Alterações na operação do sistema, por outro lado, dizem respeito à tecnologia utilizada na coleta, periodicidade e velocidade de coleta, localização e viabilidade de implantação de estações de transferência de resíduos sólidos, coleta separada do lixo reciclável, localização do pátio de estacionamento dos veículos, etc.

Para a elaboração do modelo supõe-se que a cidade tem um formato retangular. Entretanto é possível modificar as hipóteses iniciais para permitir a aplicação em cidades compostas por setores de formato qualquer, com densidade populacional e taxa de geração de lixo definidas por setor e malha viária constituída basicamente de vias ortogonais.

Departamento de Transportes
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
CEP 13.560-250 São Carlos SP
FAX 0055 0162 719241

SYSNO	857628
PROD	000076
ACERVO EESC	

st. 857628

EDSON MARTINS DE AGUIAR
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

1. INTRODUÇÃO

Atualmente muitos órgãos da administração pública se preocupam e priorizam soluções referentes à limpeza urbana e à destinação final dos resíduos sólidos. Entretanto, todos os problemas ligados aos recursos básicos para manter uma cidade em funcionamento, têm aumentado drasticamente devido ao rápido crescimento populacional e processo de urbanização que ocorreu há algumas décadas no país.

Soma-se também a isso, a forma desorganizada como as prefeituras têm conduzido estes serviços. No caso da coleta do lixo por exemplo, o setor privado tem se beneficiado, em função dessa situação, assumindo os serviços de limpeza pública de um número de municípios cada vez maior.

O desempenho de um sistema de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares por sua vez, depende de uma série de fatores, sendo que cada um deles atua com intensidades diferentes nos custos e no dimensionamento da frota de veículos e da força de trabalho.

2. AVALIAÇÃO DE CUSTOS, DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS E EQUIPES DE TRABALHO

No modelo aqui apresentado, tomou-se como referência para a sua elaboração, os propostos por AGUIAR et al. (1992), NOVAES (1986) e WILSON (1981). Incorporou-se a ele uma quantidade de variáveis, de forma que a operação do sistema fosse representada com razoável fidelidade.

2.1 Hipóteses e condições básicas iniciais

O modelo proposto é elaborado partindo-se das hipóteses abaixo relacionadas:

- cidade de formato retangular;
- densidade populacional e taxa de geração de lixo constantes;
- malha viária constituída de vias ortogonais em toda a extensão da cidade;
- áreas de coleta de lixo de formato quadrado - quadriculas;
- frotas padronizadas de veículos de coleta e de transporte;
- coleta de lixo com ou sem coleta separada do lixo;
- local de acesso à rodovia num vértice do perímetro da cidade;
- pátio de estacionamento de veículos de coleta num ponto vértice de quadricula qualquer da cidade;
- existência ou não de estação de transferência de lixo;

- local de descarga do lixo isolado da área urbana;
- veículo de coleta de lixo reciclável diferente do veículo de coleta domiciliar.

2.2 Cálculo das distâncias percorridas em coleta e transporte pela frota de veículos

Considere uma cidade com densidade populacional e taxa de geração de lixo uniformes em toda sua extensão, onde a coleta é feita por uma frota de caminhões padronizados, a intervalos regulares de tempo. Admita também que o volume de lixo ao natural é compactado com uma taxa de compressão constante.

Nessas condições, a quantidade de área coberta em cada viagem dos caminhões é:

$$A = V_c k_c k_o / (d f g_1) \quad (1)$$

onde:

- A - área de coleta de lixo de um veículo - km²
- V_c - capacidade volumétrica da caçamba de um veículo de coleta de lixo - m³
- k - taxa de compressão do lixo - adimensional
- k_c - taxa média de ocupação da caçamba de um veículo de coleta de lixo - %
- d - densidade populacional média - hab/km²
- f - intervalo entre coletas de lixo - dia
- g₁ - fator médio de geração de lixo - m³/hab.dia

Supondo-se que as áreas individuais de coleta de lixo tenham forma quadrada, a dimensão dos lados que as envolve é igual a:

$$a = [V_c k_c k_o / (d f g_1)]^{1/2} \quad (2)$$

onde:

- a - dimensão dos lados do quadrado da área de coleta de lixo de um veículo - km

Admita agora, que nessa cidade é feita a coleta do lixo inerte ou seco, para fins de reciclagem, em dias diferentes do restante do lixo. As dimensões das áreas serão:

$$A = V_c k_c k_o / (d f g_1 \phi_{1o}) \quad (3)$$

onde:

- ϕ_{1o} - porcentagem de lixo orgânico na composição do lixo coletado - %

e para a coleta do lixo seco:

$$A_{1s} = V_{c1s} k_{o1s} / (d f_{1s} g_1 \phi_{1s}) \quad (4)$$

onde:

- A_{1s} - área de coleta de lixo seco de um veículo - km²
- V_{c1s} - capacidade volumétrica da caçamba de um veículo de coleta de lixo seco - m³
- k_{o1s} - taxa média de ocupação da caçamba de um veículo de coleta de lixo seco - %
- f_{1s} - intervalo entre coletas de lixo seco - dia
- ϕ_{1s} - porcentagem de lixo seco na composição do lixo

Seja uma área urbana que possui uma malha viária constituída de vias ortogonais e formato retangular com dimensões X e Y.

Considerando as áreas individuais de coleta de lixo com formato quadrado, pode-se escrever então as seguintes relações:

$$S = X \cdot Y \quad (5)$$

$$p = X/Y \quad (6)$$

$$n_a = S/A \quad (7)$$

$$x = X/a \quad (8)$$

$$y = Y/a \quad (9)$$

onde:

S - área total da cidade - km²

X - dimensão do lado do retângulo que limita a cidade- km

Y - dimensão do lado do retângulo que limita a cidade- km

n - número de áreas de coleta de lixo - adm

x - número de áreas de coleta ao longo do eixo x- adm

y - número de áreas de coleta ao longo do eixo y- adm

p - relação entre lados X e Y da área urbana de formato retangular - adm

Para a coleta do lixo inerte, surgem assim as seguintes relações:

$$a_{1s} = A_{1s}^{1/2} \quad (10)$$

$$n_{a1s} = S/A_{1s} \quad (11)$$

$$x_{1s} = X/a_{1s} \quad (12)$$

$$y_{1s} = Y/a_{1s} \quad (13)$$

onde:

a_{1s} - dimensão dos lados do quadrado da área de coleta de lixo seco de um veículo - km

n_{a1s} - número de áreas de coleta de lixo seco - adm

x_{1s} - número de áreas de coleta de lixo seco ao longo do eixo X - adm

y_{1s} - número de áreas de coleta de lixo seco ao longo do eixo Y - adm

Admitindo-se que o ponto de acesso à rodovia, que leva ao local de descarga do lixo, esteja inicialmente situado num dos vértices do retângulo que delimita a cidade. Vide a Figura 1. A distância mínima percorrida por um caminhão dentro do espaço urbano, num sentido, para atingir a quadricula (i,j) vale:

$$d_{ij} = (i-1) a + (j-1) a = (i+j-2) a \quad (14)$$

para o ponto (0,0) como sendo o acesso à rodovia.

Considerando que todas as quadriculas são atendidas, pode-se obter a distância total percorrida por todos os caminhões em viagem de ida ou de volta, pela seguinte expressão:

$$n_a d_{ar} = a \cdot x \cdot y \cdot (x+y-2)/2 \quad (15)$$

Das expressões (5) a (9) tem-se que:

$$n_a = x \cdot y \quad (16)$$

$$\text{e finalmente: } d_{ar} = a \cdot (x+y-2)/2 \quad (17)$$

onde: d_{ar} - distância média entre as áreas de coleta de lixo e o acesso à rodovia - km

Analogamente, para as quadriculas de coleta de lixo seco obtém-se:

$$d_{ar1s} = a_{1s} (x_{1s} + y_{1s} - 2)/2 \quad (18)$$

onde:

d_{ar1s} - distância média entre as áreas de coleta de lixo seco e o acesso à rodovia - km

Nesse modelo supõe-se também que o veículo entra e sai da área de coleta pelo ponto mais próximo do acesso à rodovia.

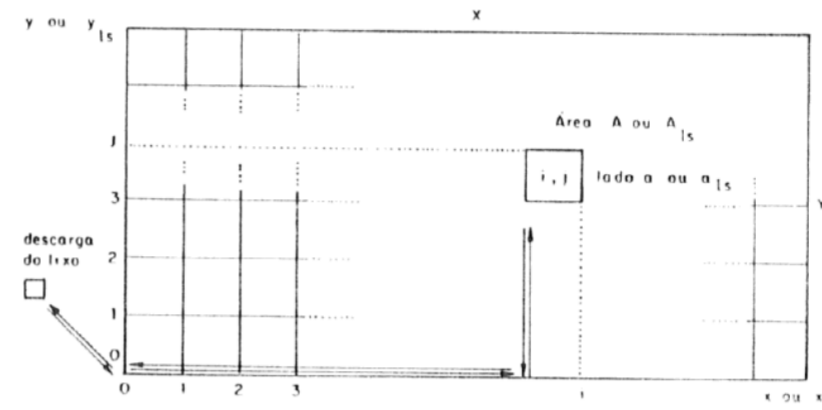


Figura 1 - Características geométricas da cidade e percurso de um veículo de coleta

Esta hipótese, portanto, pressupõe que o veículo deve seguir uma rota na área de coleta, partindo e chegando ao mesmo ponto, que é o do início do serviço e vértice de uma quadricula.

Seja (i_p, j_p) o ponto onde se situa o pátio de estacionamento, conforme é mostrado na Figura 2. Em função da posição do ponto deduz-se que:

$$d_{pa} = a[x_p^2 y - 2 x y (i_p + j_p + 1) + 2(x_j^2 + y_i^2) + x y^2] / (2 x y) \quad (19)$$

onde:

(i_p, j_p) - coordenadas do local onde se situa o pátio de estacionamento dos veículos de coleta - adm

d_{pa} - distância média entre o pátio de estacionamento de veículos de coleta e as áreas de coleta de lixo - km

Considerando-se no caso da coleta do lixo seco, para efeito de simplificação, o mesmo ponto de coordenadas (i_p, j_p) do pátio de estacionamento, a expressão passa a ser:

$$d_{pa1s} = a_{1s} [x_{1s}^2 y_{1s} - 2 x_{1s} y_{1s} (i_p + j_p + 1) + 2(x_{1s} j_p^2 + y_{1s} i_p^2) + x_{1s} y_{1s}^2] / (2 x_{1s} y_{1s}) \quad (20)$$

onde: d_{pals} - distância média entre o pátio de estacionamento de veículos de coleta e as áreas de coleta de lixo seco - km

A distância entre o pátio de estacionamento e a saída da cidade é dada pela expressão:

$$d_{rp} = |i_p - i_r| a + |j_p - j_r| a \quad (21)$$

onde: d_{rp} - distância entre o acesso à rodovia e o pátio de estacionamento de veículos de coleta - km

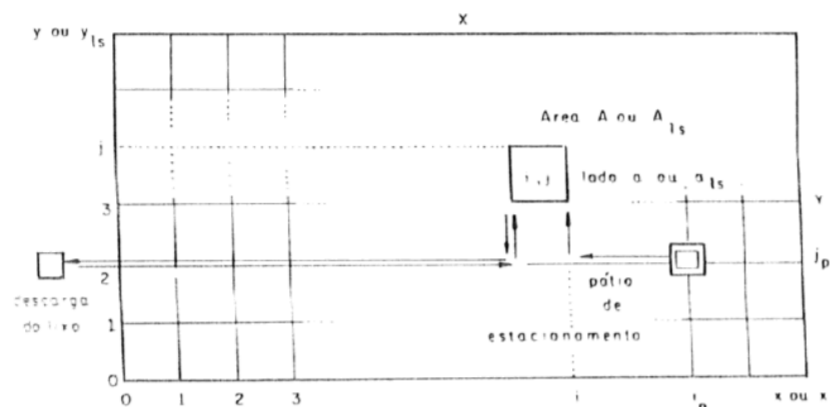


Figura 2 - Características geométricas da cidade, percurso de um veículo de coleta partindo e chegando ao pátio

A distância do ponto de saída da cidade até o local de descarga do lixo por outro lado, é dada pela variável d_{dr} em km.

E por último, a distância que um veículo percorre na área de coleta é dada pela seguinte expressão:

$$d_{ca} = A L \lambda \quad (22)$$

onde: d - distância percorrida na área de coleta de lixo - km
 L - densidade da rede viária na área de coleta - km/km²
 λ - coeficiente que relaciona a distância percorrida pelos veículos de coleta e o comprimento total das vias na área de coleta - adm

Para coleta de lixo seco a expressão passa a ser:

$$d_{ca1s} = A_{1s} L \lambda \quad (23)$$

onde: d_{ca1s} - distância percorrida na área de coleta de lixo seco

2.3 Cálculo dos tempos de coleta e transporte e do número de veículos da frota

Para esse tipo de serviço o tempo de ciclo não é constante, já que o veículo percorre distâncias diferentes para áreas

diferentes. Por isso, determina-se um tempo de ciclo médio, obtido em função das distâncias e velocidades médias.

Admite-se também aqui, que a operação de transporte, entre o local de descarga e o acesso à rodovia, pode ser feita por veículos de grande capacidade volumétrica, que seriam carregados no local de saída da cidade, numa estação de transferência de resíduos sólidos.

O período de tempo de operação de coleta e transporte de um veículo é dado pela expressão:

$$T_{ct} = T - t_{pa} - t_{rp} + t_{ar} - t_i \quad (24)$$

onde:

T_{ct} - tempo diário de operação por veículo de coleta de lixo - h/veículo.dia
 T - tempo total de jornada de trabalho por veículo de coleta - hora
 t_{pa} - tempo médio de viagem entre o pátio de estacionamento de veículos de coleta e a área de coleta de lixo-hora
 t_{rp} - tempo de viagem entre o acesso à rodovia e o pátio de estacionamento de veículos de coleta - hora
 t_{ar} - tempo médio de viagem entre áreas de coleta de lixo e o acesso à rodovia - hora
 t_i - tempo para descanso da equipe de coleta-hora

Para a coleta do lixo inerte, admitindo-se que T , o tempo total de coleta de lixo e transporte por dia por veículo, seja o mesmo nos dois casos, tem-se as seguintes expressões:

$$T_{ct1s} = T - t_{pals} - t_{rp} + t_{ar1s} - t_i \quad (25)$$

onde:

T_{ct1s} - tempo diário de operação por veículo de coleta de lixo seco - hora/veículo.dia
 t_{pals} - tempo médio de viagem entre o pátio de veículos de coleta e área de coleta de lixo seco - hora
 t_{ar1s} - tempo de viagem entre a área de coleta de lixo seco e o acesso à rodovia - hora

O tempo de ciclo é por sua vez determinado pela expressão:

$$t_c = t_{ca} + 2 t_{ar} + 2 h t_{dr} + t_d = t_{ca} + t_i + t_d \quad (26)$$

sendo que:

$$t_i = 2 (t_{ar} + h t_{dr}) \quad (27)$$

onde:

t_c - tempo de ciclo de veículos de coleta de lixo - hora
 t_{ca} - tempo consumido na área de coleta de lixo por um veículo - hora
 h - parâmetro referente a existência ou não de estação de transferência de lixo - adm
 t_{dr} - tempo de viagem entre o local de descarga do lixo e o acesso à rodovia - hora
 t_d - tempo de descarga do lixo do veículo de coleta-hora
 t_i - tempo de ida e volta dos veículos de coleta entre a área de coleta de lixo e o local de descarga - hora

O tempo consumido na área de coleta por um veículo, pode ser calculado de duas maneiras, a saber:

$$t_{ca} = d_{ca} / v_{ca} \quad (28)$$

$$\text{ou: } t_{ca} = V_c k_c k_o k_d / (n_q c_q v_{re}) = n_{rm} d_{ca} k_d / (n_q c_q) \quad (29)$$

onde:

n_{rm} - número médio de recipientes por unidade de distância na área de coleta - recipiente/km
 v_{ca} - velocidade média de coleta de lixo - km/hora

k_d - coeficiente de majoração relacionando distância entre veículo de coleta e recipiente de lixo - adm
 n_q - número de garis de uma equipe de coleta - homem
 c_q - capacidade de carregamento de um gari - recipiente/homem.hora
 v_{re} - volume médio de um recipiente de lixo - m³/recipiente

$$\text{sendo que: } n_{rm} d_{ca} v_{re} = V_c k_c k_o \quad (30)$$

O parâmetro h das expressões (26) e (27) define a existência da operação de transbordo do lixo para h = 0, ou não para h = 1. Se essa operação intermediária ocorrer, devem ser determinados o tempo de ciclo e o tamanho da frota de veículos que transitará na rodovia, levando o lixo ao local de descarga.

O tempo de ciclo para coleta de lixo seco é calculado, com uma pequena diferença em relação à expressão (26). Supõe-se que o lixo reciclável é armazenado numa área adjacente ao acesso à rodovia, assim como a possível estação de transferência e o pátio de veículos utilizados na etapa de viagem entre a estação e o local de descarga. O tempo de ciclo é calculado por:

$$t_{cls} = t_{cals} + 2 t_{arls} + t_{dls} \quad (31)$$

$$\text{e: } t_{cals} = d_{cals} / v_{cals} \quad (32)$$

$$\text{ou: } t_{cals} = V_{cls} k_{ols} k_d / (n_{qls} c_{qls} v_{recls}) = n_{rmls} d_{cals} k_d / (n_{qls} c_{qls}) \quad (33)$$

onde:

t_{cls} - tempo de ciclo de veículos de coleta de lixo seco
 t_{cals} - tempo consumido na área de coleta de lixo seco por um veículo - hora
 t_{dls} - tempo de descarga do lixo seco de um veículo - hora
 v_{cals} - velocidade média de coleta de lixo seco - km/hora
 n_{qls} - número de garis de uma equipe de coleta de lixo seco - homem
 v_{recls} - volume médio de um recipiente de lixo seco - m³/recipiente
 n_{rmls} - número médio de recipientes de lixo seco por unidade de distância na área de coleta - recipiente/km

$$\text{sendo que: } n_{rmls} d_{cals} v_{recls} = V_{cls} k_{ols} \quad (34)$$

No caso de haver uma estação de transferência de lixo, como também uma frota de veículos para transporte na rodovia, o tempo diário de operação e o tempo de ciclo para esses veículos são calculados através das expressões:

$$T_{tca} = T_{tr} - t_{tr} \quad (35)$$

$$\text{e: } t_{cca} = t_{cac} + 2 t_{tdr} + t_{dca} \quad (36)$$

onde:

T_{tca} - tempo diário de operação por carreta - hora/veículo.dia
 T_{tr} - tempo total da jornada de trabalho por carreta
 t_{tr} - tempo consumido com interrupções diversas no transporte por carreta - hora
 t_{cca} - tempo de ciclo de uma carreta - hora
 t_{cac} - tempo de carregamento do lixo na carreta - hora
 t_{tdr} - tempo de viagem da carreta entre o ponto de descarga e o acesso à rodovia - hora
 t_{dca} - tempo de descarregamento do lixo da carreta - hora

Uma vez determinados os tempos de ciclo, passa-se ao cálculo do número de veículos de coleta e transporte que comporão a frota.

O número de viagens que cada veículo de coleta faz por dia é dado pela expressão:

$$n_v = T_{tca} / t_{ca} \quad (37)$$

onde:

n_v - número de viagens diárias por veículo de coleta - viagem/veículo.dia

E o número de veículos de coleta diária é dado por:

$$N_{vc} = n_v / (n_v f) \quad (38)$$

onde:

N_{vc} - número de veículos de coleta de lixo - veículo

Para a coleta de lixo seco, as expressões para cálculo do número de veículos são as seguintes:

$$n_{vls} = T_{tcls} / t_{cls} \quad (39)$$

$$N_{vcls} = n_{vls} / (n_{vls} f_{ls}) \quad (40)$$

onde:

n_{vls} - número de viagens diárias por veículo de coleta de lixo seco - viagem/veículo.dia
 N_{vcls} - número de veículos de coleta de lixo seco - veículo

Considerando que exista uma estação de transferência, a quantidade do lixo coletado que passa por ela é dada por:

$$Q_{tr} = d S g_1 \quad (41)$$

$$\text{ou: } Q_{tr} = d S g_1 \phi_{10} \quad (42)$$

onde:

Q_{tr} - quantidade total diária de lixo transferido - m³/dia

O número de viagens, entre a estação de transferência e o local de descarga, feitas pelas carretas, é dado pela expressão:

$$n_{vdr} = Q_{tr} / (V_{cca} k_{cca}) \quad (43)$$

onde:

n_{vdr} - número de viagens diárias entre o local de descarga do lixo e o acesso à rodovia - viagem/dia
 V_{cca} - capacidade volumétrica de uma carreta - m^3
 k_{cca} - taxa de compressão do lixo na carreta - adm

O número de viagens que cada carreta faz por dia é:

onde:
 n_{vca} - número de viagens diárias por carreta - viagem/veículo.dia

O número de carretas que transportam o lixo na rodovia, é determinado pela expressão:

$$N_{ca} = n_{vdr} / n_{vca} \quad (45)$$

onde:

N_{ca} - número de carretas para o transporte entre o acesso à rodovia e o local de descarga - veículo

2.4 Determinação dos custos de coleta, transporte e transferência e do número de equipes de trabalho

Iniciando pelos custos fixos, para a frota tem-se que:

$$C_{ftf} = C_{fc} N_{vc} + C_{fca} N_{ca} + C_{fcls} N_{vcls} \quad (46)$$

onde:

C_{ftf} - custo fixo total diário da frota - veículos de coleta e carretas - Cr\$/dia
 C_{fc} - custo fixo diário do veículo de coleta de lixo - Cr\$/veículo.dia
 C_{fca} - custo fixo diário da carreta - Cr\$/veículo.dia
 C_{fcls} - custo fixo diário do veículo de coleta de lixo seco - Cr\$/veículo.dia

O custo fixo, referente ao pessoal contratado para o serviço, é dado pela seguinte expressão:

$$C_{ftp} = C_{fpm} [N_{vc} + N_{ca} + N_{vcls}] k_m + C_{fpq} [N_{vc} n_g + N_{vcls} n_{qis}] k_g \quad (47)$$

onde:

C_{ftp} - custo fixo total diário de pessoal - Cr\$/dia
 C_{fpm} - custo fixo diário de pessoal - motoristas - Cr\$/homem.dia
 C_{fpq} - custo fixo diário de pessoal - garis - Cr\$/homem.dia
 k_m - fator de majoração - reserva de motoristas - adm
 k_g - fator de majoração - reserva de garis - adm

Para a estação de transferência de lixo, C_{fttr} é o custo fixo total diário de transferência em Cr\$/dia. E somando-se as três parcelas, obtém-se:

$$C_{ft} = C_{ftf} + C_{ftp} + C_{fttr} \quad (48)$$

onde:

C_{ft} - custo fixo total diário - Cr\$/dia

O custo variável da coleta e transporte de lixo é obtido pela expressão:

$$C_{vtr} = C_{vc} N_{vc} n_v [d_{ca} k_{ca} + 2(d_{ar} + h d_{dr})] + C_{vc} N_{vc} (d_{pa} + d_{rp} - d_{ar}) + C_{vca} N_{ca} n_{vca} 2 d_{dr} + C_{vcls} N_{vcls} n_{vcls} (d_{cals} k_{ca} + 2 d_{arls}) + C_{vcls} N_{vcls} (d_{pals} + d_{rpls} - d_{arls}) \quad (49)$$

onde:

C_{vtr} - custo variável total diário da frota - veículos de coleta e carretas - Cr\$/dia
 C_{vc} - custo variável do veículo de coleta - Cr\$/veículo.km
 C_{vca} - custo variável da carreta - Cr\$/veículo.km
 C_{vcls} - custo variável do veículo de coleta de lixo seco - Cr\$/veículo.km
 k_{ca} - fator de majoração do custo variável na coleta - adm

O custo variável de transferência é obtido pela expressão:

$$C_{vtr} = C_{vtr} Q_{tr} \quad (50)$$

onde:

C_{vtr} - custo variável total diário de transferência - Cr\$/m³
 C_{vtr} - custo variável de transferência - Cr\$/m³

E somando-se as expressões (49) e (50), obtém-se:

$$C_{vt} = C_{vtr} + C_{vtr} \quad (51)$$

onde:

C_{vt} - custo variável total diário - Cr\$/dia

O custo total é calculado pela soma das expressões (46) e (50):

$$CT = C_{ft} + C_{vt} \quad (52)$$

onde:

CT - custo total diário - Cr\$/dia

Os custos médios por habitante da cidade, e por m³ de lixo coletado, são obtidos pelas seguintes expressões:

$$CM_1 = CT / Q_t \quad (53)$$

$$CM_h = CT / d S \quad (54)$$

sendo:

$$Q_t = d S q_l \quad (55)$$

$$P = d S \quad (56)$$

onde:

CM_1 - custo médio diário por volume de lixo coletado - Cr\$/m³.dia
 Q_t - quantidade total diária de lixo coletado - m³/dia
 P - população da cidade - hab
 CM_h - custo médio diário por habitante - Cr\$/hab.dia

O custo total pode ser expresso por:

$$CT = C_{ft} + C_{vtc} + C_{vtt} + C_{vtr} \quad (57)$$

E o custo variável de transporte é obtido por:

$$C_{vtc} = 2 C_{vc} N_{vc} n_{vc} (d_{ar} + h_{dr}) + C_{vc} N_{vc} (d_{pa} + d_{rp} - d_{ar}) + 2 C_{vca} N_{vca} n_{vca} d_{dr} + 2 C_{vcls} N_{vcls} n_{vcls} d_{arls} + C_{vcls} N_{vcls} (d_{pals} + d_{rp} - d_{arls}) \quad (58)$$

onde:

C_{vtc} - custo variável total diário de coleta - Cr\$/dia
 C_{vca} - custo variável total diário de transporte - Cr\$/dia

O custo variável total diário de transferência C_{vtr} é obtido pela expressão (50). O custo variável de coleta é expresso por:

$$C_{vtc} = C_{vc} N_{vc} n_{vc} d_{ca} + C_{vcls} N_{vcls} n_{vcls} d_{ca} \quad (59)$$

Por último, os números totais de garis e de motoristas contratados, para o serviço de coleta e transporte, podem ser obtidos da expressão (47) como segue:

$$N_{tg} = k_g (N_{vc} n_{vc} + N_{vcls} n_{vcls}) \quad (60)$$

$$N_{tm} = k_m (N_{vc} + N_{ca} + N_{vcls}) \quad (61)$$

onde:

N_{tg} - número total de garis - homem
 N_{tm} - número total de motoristas - homem

Observe que, para o cálculo do número de motoristas e garis, pressupõe-se que cada veículo tem uma equipe completa associada a ele. Assim, tanto o veículo como equipe de trabalho iniciam e terminam juntos uma jornada de trabalho.

2. CONCLUSÕES

Neste artigo apresenta-se um processo de cálculo cujo objetivo é auxiliar no planejamento de sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos, como também tentar avaliar quais são os fatores que pesam de maneira mais significativa sobre os custos totais e médios da operação de um sistema de manejo de resíduos sólidos domiciliares.

Conclui-se através do desenvolvimento do modelo que pouco pode ser feito em nível de planejamento sem ter a disposição diversos dados essenciais que caracterizam a cidade. A falta desses dados por exemplo, tem impedido que as prefeituras executem o serviço de coleta de forma eficiente e eficaz.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, Edson M.de; FERRAZ, Antonio C.P.; SCHALCH, Valdir. Um modelo para avaliação da influência da forma e do porte da cidade no custo do transporte de lixo. Revista de Transporte e Tecnologia. Ano IV, n. 8, Campina Grande, 1992, p.56-65.
2. NOVAES, A.G. Engenharia Urbana: Contornos e Perspectivas. Revista Politécnica, São Paulo, n. 192, 1986, p. 17-19.
3. WILSON, David C. Waste Management: Planning, Evaluation, Technologies. Oxford University Press. Oxford, 1981.530p.

LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS NUMA REDE

LOGÍSTICA COM O AUXÍLIO DE GIS

Antonio Galvão Novaes

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas - UFSC

Cássio Fernando Rosseto

LOGIT - Logística, Informática e Transportes Ltda

RESUMO

Um dos problemas enfrentados por grande número de empresas é o de planejar racionalmente o sistema de distribuição física de seus produtos de forma a atender uma clientela especialmente dispersa. A crescente preocupação com o nível de serviço logístico, que é representado normalmente pelo prazo de atendimento dos pedidos e pelo respectivo grau de confiabilidade, entre outros fatores, leva muitas vezes as empresas a implantar centros de distribuição, armazéns e depósitos em pontos diversos do território. Com a recessão, aumento na competitividade e busca de níveis de custo mais baixos, os administradores se vêem muitas vezes na necessidade de desativar instalações ou desistir de planos de expansão já aprovados anteriormente. Nesse quadro de incertezas, métodos mais racionais, envolvendo modelagem matemática, computação, pesquisa operacional, etc, podem ser de grande valia na definição da estratégia logística da empresa.

Neste trabalho apresentamos a aplicação de um método constante da literatura (Eilon, Watson-Gandy, Christofides, 1971) que trata do problema de dimensionamento e localização de depósitos de distribuição numa determinada região. Parte-se da representação simplificada da rede viária, através de métrica Euclídeana corrigida, e busca-se iterativamente o número, dimensões e localização geográfica dos depósitos de forma a minimizar uma função custo formada por: (a) custo total de transporte entre fábrica e depósitos (transferência); (b) custo de armazenagem; (c) custo de transporte a partir dos depósitos até os pontos de consumo (distribuição propriamente dita). O modelo foi aplicado a um problema de distribuição de bebidas no Estado de Santa Catarina, tendo sido considerados 199 municípios (centros de consumo).

O modelo foi integrado a um "software" denominado GisPlus, da Caliper Corp., que permite representações gráficas diversas do problema, facilitando a análise e melhorando a qualidade dos resultados.

Antonio Galvão Novaes

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas
 Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina
 CEP 88010-970, Florianópolis, SC

Cássio Fernando Rosseto

LOGIT - Logística, Informática e Transportes Ltda
 Rua Sebastião Velho 202
 CEP 05418-040, São Paulo, SP